

Αναγκαιότητα καθορισμού τεχνικών προδιαγραφών μελετών αστοχίας φράγματος

Α. Ι. Στάμου

Αναπληρωτής καθηγητής, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Ν. Μουτάφης

Λέκτορας, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Ι. Στεφανάκος

Λέκτορας, Τομέας Υδατικών Πόρων και Περιβάλλοντος, Σχολή Πολιτικών Μηχανικών, ΕΜΠ

Λέξεις κλειδιά: αστοχία φράγματος, μαθηματική προσομοίωση, μελέτη αστοχίας φράγματος, τεχνικές προδιαγραφές

ΠΕΡΙΛΗΨΗ: Στην εισαγωγή της εργασίας τονίζεται η αναγκαιότητα καθορισμού τεχνικών προδιαγραφών για τις Μελέτες Αστοχίας Φράγματος (ΜΑΦ) με δεδομένη την αναμενόμενη κατασκευή 20 νέων μεγάλων φραγμάτων στους ποταμούς Αχελώο, Αλιάκμονα, Αώο, Καλαμά και Άραχθο, όπου έχουν ήδη ολοκληρωθεί οι μελέτες, και 250 μικρότερης κλίμακας, κυρίως σε νησιωτικές περιοχές. Στη συνέχεια περιγράφεται συνοπτικά το θέμα της αστοχίας των φραγμάτων με έμφαση στους τρόπους αστοχίας τους. Στο κύριο μέρος της εργασίας περιγράφεται ενδεικτικά και συνοπτικά μια τυποποιημένη μεθοδολογία 9 βημάτων πραγματοποίησης μιας ΜΑΦ. Η προτεινόμενη μεθοδολογία μπορεί να χρησιμοποιείται από τους μελετητές αυτούσια ή τμηματικά στις σχετικές μελέτες μέχρι τη δημοσίευση των τεχνικών προδιαγραφών για τις ΜΑΦ.

1 ΕΙΣΑΓΩΓΗ

Στο πλαίσιο της αντιμετώπισης της έλλειψης υδατικών πόρων (κυρίως) και ενεργειακών πόρων (δευτερευόντως) στη χώρα μας, ο Υπουργός ΥΠΕΧΩΔΕ ανακοίνωσε πρόγραμμα κατασκευής 20 νέων μεγάλων φραγμάτων και 250 μικρότερης κλίμακας, κυρίως σε νησιωτικές περιοχές. Τα μεγάλα νέα φράγματα θα κατασκευαστούν στους ποταμούς Αχελώο, Αλιάκμονα, Αώο, Καλαμά και Άραχθο, όπου έχουν ήδη ολοκληρωθεί οι μελέτες {3}. Για την κατασκευή κάθε νέου φράγματος απαιτείται η πραγματοποίηση Μελέτης Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ), στην οποία αναλύονται και αντιμετωπίζονται οι αναμενόμενες περιβαλλοντικές επιπτώσεις {1}.

Σε μια ΜΠΕ φράγματος πρέπει να περιλαμβάνεται Μελέτη Αστοχίας του Φράγματος (ΜΑΦ). Η ΜΑΦ, ακολουθώντας τη συνηθισμένη πρακτική των ΜΠΕ, είναι συχνά «φτωχά αμειβόμενη» με συνέπεια τη χαμηλή (συνήθως) ποιότητά της. Έτσι, η εμπειρία από τις περισσότερες μέχρι τώρα ΜΑΦ δεν είναι ικανοποιητική και συχνά μια ΜΑΦ αποσκοπεί στην «τυπική κάλυψη» του θέματος. Οι ΜΑΦ συνοδεύονται, συνήθως, από περιορισμένη και ασαφή παρουσίαση του εφαρμοζόμενου κώδικα υπολογισμού (με τη αιτιολογία ότι αυτός είναι «δοκιμασμένος», όπως π.χ. ο DAMBRK) και ογκώδεις «εκτυπώσεις κειμένου αποτελεσμάτων» χωρίς ουσία, που προκαλούν συχνά στους αρμόδιους κρατικούς υπαλλήλους αμηχανία ή/και αδυναμία ελέγχου. Ακόμα, όμως, και οι «καλές» ΜΑΦ δεν περιέχουν επαρκή αιτιολόγηση των χαρακτηριστικών του προκαλούμενου «ρήγματος» στο σώμα του φράγματος, τα οποία καθορίζουν σε σημαντικό βαθμό τα αποτελέσματα και τα πρακτικά συμπεράσματα της ΜΑΦ, όπως π.χ. εύρος περιοχής κατάληψης του πλημμυρικού κύματος. Τα πρακτικά συμπεράσματα της ΜΑΦ, που είναι αυτά που κατανοεί εύκολα ο μη-ειδικός, αποτελούν συχνά σημείο τριβής και αντιπαραθέσεων. Τα παραπάνω

καθιστούν απολύτως απαραίτητο τον καθορισμό Τεχνικών Προδιαγραφών (ΤΠ) των ΜΑΦ, οι οποίες θα επιτρέπουν τη διεξοδική, σοβαρή και ουσιαστική αντιμετώπιση του θέματος.

Το παρόν άρθρο αποτελείται από δυο μέρη. Στο πρώτο μέρος περιγράφεται συνοπτικά το θέμα της αστοχίας των φραγμάτων με έμφαση στους τρόπους αστοχίας τους. Στο δεύτερο μέρος προτείνονται συνοπτικά και συγκεκριμένα σημεία περιεχομένων της ΜΑΦ.

2 ΑΣΤΟΧΙΕΣ ΦΡΑΓΜΑΤΩΝ

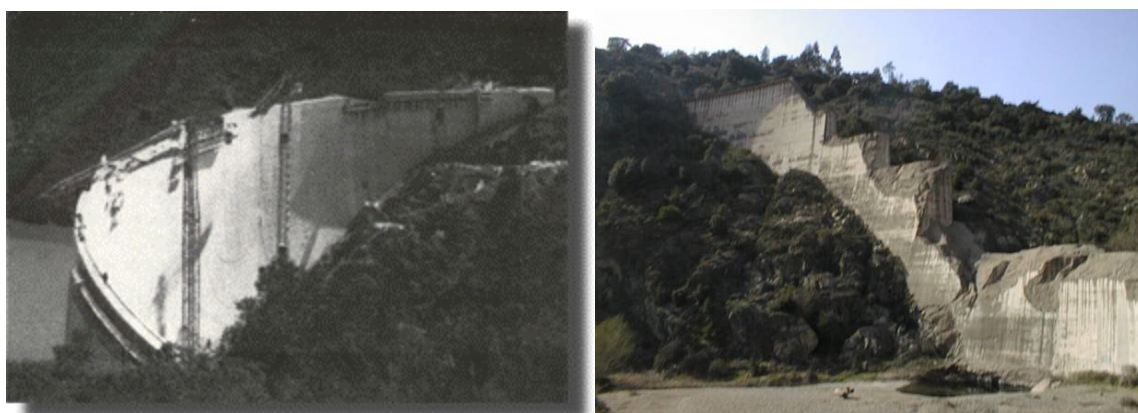
Είναι αρκετές οι περιπτώσεις αστοχίας χωμάτινων φραγμάτων που έχουν συμβεί στο παρελθόν. Οι κυριότεροι τρόποι αστοχίας τους είναι (1) με υπερπήδηση, (2) με διασωλήνωση και (3) διάφορα άλλα αίτια, βλ. {3} για περισσότερες πληροφορίες. Χαρακτηριστική είναι η καταστροφή του χωμάτινου φράγματος στον ποταμό Teton στο Idaho των ΗΠΑ. Το φράγμα κατασκευάστηκε το 1976 και αμέσως μετά την αποπεράτωσή του (και ενώ ο ταμιευτήρας ήταν πλήρης) εξ αιτίας της ανοιξιάτικης απορροής, εμφανίστηκαν διαρροές νερού κατάντη του φράγματος σε απόσταση 230 m. Το φαινόμενο θεωρήθηκε φυσιολογικό, αφού το νερό διηθείται μέσα από κάθε χωμάτινο φράγμα. Δύο μέρες αργότερα, νέα διαρροή έγινε αντιληπτή κοντά στο δεξιό αντέρεισμα. Η προσπάθεια για τον περιορισμό της διαρροής ήταν ανεπιτυχής. Δύο ώρες από τον εντοπισμό της διαρροής στο αντέρεισμα εμφανίστηκε ένας στροβιλισμός στην επιφάνεια του νερού στον ταμιευτήρα, ταυτόχρονα η διάμετρος της τρύπας στο αντέρεισμα είχε διευρυνθεί στα 8 m. Η κατάρρευση του φράγματος στο δεξιό αντέρεισμα ήταν ακαριαία και ολοκληρωτική, 300 δισεκατομμύρια m^3 νερού απελευθερώθηκαν στην κοιλάδα του ποταμού Teton. Λίγες ώρες χρειάστηκαν για να αδειάσει εντελώς ο ταμιευτήρας. Ο απολογισμός των καταστροφών ήταν 11 νεκροί και τεράστιες υλικές ζημιές. Οι ανθρώπινες απώλειες θα ήταν πολύ περισσότερες δεδομένου του όγκου του αποθηκευμένου νερού και του πληθυσμού που διέμενε κατάντη αυτού. Οι κινητοποιήσεις όμως των αρχών ήταν άμεση. Από τη στιγμή του εντοπισμού της διαρροής στο αντέρεισμα ειδοποιήθηκαν όλοι οι κάτοικοι να εγκαταλείψουν τα σπίτια τους τόσο από τις τοπικές αρχές, αλλά και από τα ΜΜΕ που έσπευσαν να καλύψουν τηλεοπτικά και ραδιοφωνικά το γεγονός.



Εικόνα 1: Αστοχία του φράγματος Teton – Νοτιοδυτική άποψη. Το χάσμα έχει διευρυνθεί σημαντικά και παρατηρείται διάβρωση έντονη διάβρωση. Φωτογραφία από της κας Mrs. Eunice Olson στις 5 Ιουνίου 1976 (http://www.geol.ucsb.edu/faculty/sylvester/Teton%20Dam/welcome_dam.html)

Οι αστοχίες των φραγμάτων από σκυρόδεμα είναι σημαντικά λιγότερες από αυτές των χωμάτινων φραγμάτων και ανύπαρκτες στα φράγματα που κατασκευάζονται με νέες τεχνολογίες (RCC, HFD κα). Οι κύριοι τύποι φραγμάτων από σκυρόδεμα είναι οι ακόλουθοι: (1) βαρύτητας, (2) τοξωτά., (3) RCC, στα μπορεί να περιληφθούν και τα φράγματα σκληρού επιχώματος (Hard Fill Dams, HFD) και (4) αντηριδωτά. Τα φράγματα βαρύτητας κατασκευάζονται σε θέσεις με βραχώδες υπέδαφος ή σπανιότερα με πυκνές αλλουβιακές αποθέσεις. Τα τοξωτά φράγματα εφαρμόζονται σε θέσεις όπου ο λόγος του πλάτους, μεταξύ των αντερεισμάτων και του ύψους του φράγματος, δεν είναι μεγάλος και το υπέδαφος αποτελείται από συμπαγή βράχο ικανό να αντέξει τις ωθήσεις της τοξωτής κατασκευής. Τα φράγματα τύπου RCC και ιδιαίτερα τα HFD είναι αποτέλεσμα της εφαρμογής μιας σχετικά νέας μεθόδου, η οποία συνδυάζει την ασφάλεια και τα πλεονεκτήματα των φραγμάτων από σκυρόδεμα, με τις μεθόδους ταχείας συνεχούς τοποθέτησης που εφαρμόζονται στα χωμάτινα φράγματα. Στα φράγματα με αντηρίδες οι υδροστατικές δυνάμεις μεταφέρονται μέσω μιας κεκλιμένης επιφάνειας από σκυρόδεμα σε μια σειρά από αντηρίδες, οι οποίες είναι τοποθετημένες σε ορθή γωνία ως προς τον άξονα του φράγματος. Τα φράγματα από σκυρόδεμα παρουσιάζουν ορισμένα λειτουργικά πλεονεκτήματα σε σχέση με τα χωμάτινα, όπως (1) δεν διαβρώνονται σε περίπτωση υπερπήδησης από υπερχειλίση (αν και είναι δυνατή η διάβρωση των θεμελίων και των αντερεισμάτων τους) και (2) δεν εμφανίζουν προβλήματα εξαιτίας διασολήνωσης ή ολίσθησης του αναχώματος. Οι κυριότεροι λόγοι αστοχίας τους είναι οι εξής: (1) ρηγματώση, (2) ανεπαρκής θεμελίωση, (3) ανεπαρκή αντερείσματα και (4) απώλεια των αρχικών ιδιοτήτων του σκυροδέματος. Εξωτερικές συνθήκες, όπως ολισθήσεις, καθιζήσεις, μετεωρολογικά φαινόμενα και σεισμοί ευθύνονται για την αστοχία πολλών φραγμάτων.

Η γνωστότερη στους Ευρωπαίους καταστροφή φράγματος από σκυρόδεμα είναι αυτή του Malpasset. Το φράγμα Malpasset ήταν ένα τοξωτό φράγμα με διπλή καμπυλότητα μεταβλητής ακτίνας με ύψος 60 m και μήκος στη στέψη 223 m. Κατασκευάστηκε το 1959 για να καλύψει υδρευτικές και αρδευτικές ανάγκες, ώστε να υποστηριχθεί η τουριστική ανάπτυξη της περιοχής. Παρότι η θέση του φράγματος είχε θεωρηθεί από ορισμένους ως ακατάλληλη, η αρμόδια υπηρεσία, βασισμένη σε γεωλογικές και υδρολογικές μελέτες ενέκρινε την κατασκευή του. Το βραχώδες υπέδαφος θεωρήθηκε στεγανό. Το αριστερό αντέρεισμα ήταν βραχώδες, ενώ στο δεξιό κατασκευάστηκε τοίχος από σκυρόδεμα για την πιο ομοιόμορφη και ομαλή μεταφορά των τάσεων από την τοξωτή κατασκευή. Κατόντη του φράγματος παρατηρήθηκαν ρηγματώσεις οι οποίες δεν διερευνήθηκαν. Δύο εβδομάδες από τον εντοπισμό των ρηγματώσεων, στις 2 Δεκεμβρίου 1959, το φράγμα κατέρρευσε προκαλώντας περίπου 500 θανάτους. Τα αίτια της κατάρρευσης συνοψίζονται στα ακόλουθα: (1) Ένα τεκτονικό ρήγμα κατόντη του φράγματος το οποίο δεν έγινε αντιληπτό στη φάση σχεδιασμού και την κατασκευή του φράγματος. (2) Η κατάσταση του βραχώδους υλικού του δεξιού αντερείσματος. (3) Η ανάπτυξη ασυνήθιστων ανωστικών δυνάμεων κάτω από το φράγμα. (4) Η ισχυρή βροχόπτωση που προηγήθηκε της κατάρρευσης και είχε ως αποτέλεσμα την αύξηση της στάθμης στον ταμιευτήρα κατά 5 m.



Εικόνα 1: Το φράγμα Malpasset Dam πριν (1959) και μετά την καταστροφή του (2000) {14}

3 ΜΕΘΟΔΟΛΟΓΙΑ ΠΡΑΓΜΑΤΟΠΟΙΗΣΗΣ ΜΙΑΣ ΜΕΛΕΤΗΣ ΑΣΤΟΧΙΑΣ ΦΡΑΓΜΑΤΟΣ

Στο παρόν δεύτερο μέρος της εργασίας περιγράφεται συνοπτικά μια συστηματική μεθοδολογία 9 βημάτων εκπόνησης μιας ΜΑΦ. Η μεθοδολογία βασίζεται στην εμπειρία και σε σχετικές εργασίες των συγγραφέων, καθώς και στη διεθνή βιβλιογραφία που αναφέρεται στις εργασίες αυτές.

3.1 Βήμα 1. Συνοπτική περιγραφή και χαρακτηριστικά του εξεταζόμενου φράγματος

Στα χαρακτηριστικά ενός φράγματος ανήκουν τα ακόλουθα: (1) τα γεωμετρικά στοιχεία του, (2) τα χαρακτηριστικά των υλικών του, (3) τα υδρολογικά στοιχεία σχεδιασμού, κυρίως το πλημμυρογράφημα της λεκάνης απορροής, (4) οι εξισώσεις στάθμης-όγκου και στάθμης-επιφάνειας του ταμιευτήρα, (5) η εξίσωση στάθμης-παροχής εκροής του εκχειλιστή ή υπερχειλιστή του φράγματος και η αντίστοιχη περίοδος σχεδιασμού του, (6) ενδεικτικά σχέδια (π.χ. τυπική διατομή) και (7) φωτογραφίες, όταν πρόκειται για υφιστάμενη κατασκευή, του φράγματος. Τα στοιχεία (1) και (2) συνοψίζονται στους Πίνακες 1 και 2, αντίστοιχα.

Πίνακας 1. Κύρια γεωμετρικά στοιχεία του φράγματος

<u>Στάθμες</u>
Πυθμένα φράγματος
Στέψη φράγματος
<u>Στέψης υπερχειλιστή</u>
<u>Διαστάσεις</u>
Πλάτος στέψης φράγματος
<u>Μήκος στέψης φράγματος</u>
<u>Κλίσεις</u>
Κλίση ανάντη πρανούς (κάθετο:οριζόντια)
Κλίση κατόντη πρανούς (κάθετο:οριζόντια)
Κλίση ανάντη πλευράς πυρήνα (κάθετο:οριζόντια)
<u>Κλίση κατόντη πλευράς πυρήνα (κάθετο:οριζόντια)</u>

Πίνακας 2. Κύρια χαρακτηριστικά των υλικών του φράγματος

<u>Πυρήνας</u>
Διάμετρος κοκκώδους υλικού 50%
Λόγος διαμέτρων κοκκώδους υλικού 90%/30%
Πορώδες υλικού
Ειδικό βάρος υλικού
Γωνία εσωτερικής τριβής υλικού
<u>Συνοχή</u>
<u>Σώμα στήριξης</u>
Διάμετρος κοκκώδους υλικού 50%
Λόγος διαμέτρων κοκκώδους υλικού 90%/30%
Πορώδες υλικού
Ειδικό βάρος υλικού
Γωνία εσωτερικής τριβής υλικού
<u>Συνοχή</u>
<u>Πρανή</u>
Διάμετρος κοκκώδους υλικού 50%-ανάντη
Διάμετρος κοκκώδους υλικού 50%-κατόντη
Λόγος διαμέτρων κοκκώδους υλικού 90%/30% - ανάντη
<u>Λόγος διαμέτρων κοκκώδους υλικού 90%/30% - κατόντη</u>

3.2 Βήμα 2. Συνοπτική περιγραφή και στοιχεία του κατάντη χειμάρρου

Περιγράφονται τα κύρια στοιχεία του κατάντη χειμάρρου, που είναι τα ακόλουθα:

- (1) σχέδια μηκοτομής και κάτοψης του χειμάρρου,
- (2) σχέδια διατομών του χειμάρρου με σημειωμένα τα ιδιαίτερα χαρακτηριστικά των διατομών, όπως π.χ. μεγάλη κλίση πυθμένα μεταξύ δυο διατομών, στενή διατομή,
- (3) χαρακτηριστικά βλάστησης του κάθε τμήματος τεκμηριωμένα με σχετικές φωτογραφίες,
- (4) προκαταρκτική εκτίμηση του αναμενόμενου είδους της ροής στα επιμέρους τμήματα του χειμάρρου (υποκρίσιμη-υπερκρίσιμη) και
- (5) περιοχές ενδιαφέροντος, από τις οποίες διέρχεται ο χειμάρρος, όπως οικισμοί, δρόμοι, γέφυρες και διάφορες άλλες κατασκευές.

Από τα παραπάνω στοιχεία προσδιορίζονται τα ακόλουθα:

- (1) αριθμημένος κατάλογος των διατομών και των τμημάτων του χειμάρρου (που καθορίζονται από τις διατομές) που θα χρησιμοποιηθούν στους υπολογισμούς, με βάση τα (1) και (2),
- (2) τιμές του συντελεστή τριβών σε κάθε τμήμα του χειμάρρου, συνήθως κατά Manning, με βάση το (3),
- (3) απαιτούμενα χαρακτηριστικά του μοντέλου κύματος, με βάση το (4) και
- (4) κατάλογος με τις θέσεις των περιοχών ενδιαφέροντος, τις οποίες ενδέχεται να επηρεάσει το πλημμυρικό κύμα, με βάση το (5).

3.3 Βήμα 3. Περιγραφή πιθανών τρόπων αστοχίας-Αιτιολόγηση

Περιγράφονται οι ενδεχόμενοι τρόποι αστοχίας για το εξεταζόμενο φράγμα με βάση τη διεθνή και ελληνική εμπειρία. Με δεδομένο ότι δεν υπάρχει εμπειρία από τον Ελληνικό χώρο, καθόσον δεν έχει συμβεί μέχρι σήμερα (ευτυχώς!) κάποια θραύση φράγματος (μόνο το φράγμα Περδίκια και η διακινδύνευση του Άγρα), ο μελετητής πρέπει να καταφύγει στη διεθνή εμπειρία για να περιγράψει και να αιτιολογήσει τους πιθανούς τρόπους αστοχίας, αξιοποιώντας υφιστάμενα στοιχεία αστοχίας παρόμοιων φραγμάτων με το εξεταζόμενο.

Την περιγραφή των πιθανών τρόπων αστοχίας μπορεί να συνοδεύουν εκτιμήσεις για την διακινδύνευση και την επικινδυνότητα του φράγματος. Ως διακινδύνευση (risk of failure) ενός φράγματος ορίζεται η πιθανότητα αστοχίας του. Όσο πλήρης και αν είναι η μελέτη ενός φράγματος και όσο καλή και αν είναι η κατασκευή του, η διακινδύνευση δε μπορεί να μηδενιστεί. Η επικινδυνότητα (risk of hazard) περιγράφει τις πιθανές συνέπειες από την κατάρρευση του φράγματος, όπως η απώλεια ζωής και η καταστροφή περιουσιών. Ένα φράγμα μπορεί να έχει μικρή πιθανότητα να αστοχήσει, αλλά ταυτόχρονα να αποτελεί μεγάλο κίνδυνο σε περίπτωση κατάρρευσης, ιδίως όταν κατοικεί μεγάλος αριθμός ανθρώπων στη ζώνη κατάκλισης. Εφόσον όλα τα φράγματα έχουν μια διακινδύνευση, οσοδήποτε μικρή και αν είναι αυτή, αποτελούν κίνδυνο για την ανθρώπινη ζωή, τη δημόσια και ιδιωτική περιουσία.

3.4 Βήμα 4. Μαθηματική προσομοίωση της αστοχίας του φράγματος

Η μαθηματική προσομοίωση της αστοχίας ενός φράγματος αποτελεί ίσως το σημαντικότερο βήμα εκπόνησης μιας ΜΑΦ. Έχει ως σκοπό τον προσδιορισμό στις θέσεις ενδιαφέροντος της κατάντη περιοχής κατάκλισης των ακόλουθων χαρακτηριστικών του κύματος: (1) του χρόνου άφιξης του κύματος, (2) της μέγιστης στάθμης του νερού (από όπου θα προσδιοριστεί η έκταση της περιοχής κατάκλισης), (3) του χρόνου παρατήρησης του μέγιστου βάθους ροής, (4) της μεταβολής του βάθους και της ταχύτητας ροής (για να εκτιμηθεί ο κίνδυνος καταστροφής κατασκευών) και (5) της διάρκειας της πλημμυρικής ροής.

Όπως περιγράφεται αναλυτικά στην εργασία {2}, η μαθηματική προσομοίωση της αστοχίας ενός φράγματος μπορεί να θεωρηθεί ως μια υπολογιστική διαδικασία δυο βημάτων 4-1 και 4-2.

Στο βήμα 4-1 προσδιορίζονται τα σενάρια αστοχίας του εξεταζόμενου φράγματος με βάση τα δεδομένα του βήματος 3. Μετά, επιλέγεται το μαθηματικό μοντέλο υπολογισμού των διεργασιών της δημιουργίας και της χρονικής εξέλιξης του χάσματος, το οποίο καλείται απλά «μοντέλο χάσματος». Εφαρμόζεται το μοντέλο του χάσματος για όλα τα σενάρια αστοχίας και προσδιορίζεται η χρονοσειρά της εξερχόμενης από το καταστρεφόμενο φράγμα παροχής, η οποία καλείται «Υδρογράφημα Εκροής του Φράγματος», ΥΔΕΚΦ.

Στο βήμα 4-2 επιλέγεται και εφαρμόζεται το μαθηματικό μοντέλο όδευσης του κύματος ή απλά «μοντέλο κύματος». Για κάθε ένα από τα σενάρια αστοχίας υπολογίζονται τα χαρακτηριστικά του κύματος στις θέσεις ενδιαφέροντος της κατόντη περιοχής κατάκλισης του χειμάρρου (βλ. βήμα 3). Το ΥΔΕΚΦ που υπολογίστηκε με το μοντέλο χάσματος αποτελεί τη καθοριστική ανάντη συνθήκη στους υπολογισμούς του μοντέλου κύματος. Τα χαρακτηριστικά του κύματος παρουσιάζονται σε γραφική ή/και πινακοποιημένη μορφή (π.χ. περιοχές κατάκλισης με σημειωμένους τους χρόνους άφιξης του κύματος) με στόχο να αποτελέσουν τα στοιχεία εισόδου για τη κατάστρωση του Σχεδίου Αντιμετώπισης Αστοχίας Φράγματος.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου χάσματος είναι τα ακόλουθα:

- (1) Κατηγορία του μοντέλου, όπως εμπειρικό, μηχανιστικό, ημι-εμπειρικό ή απλό υδραυλικό {2}.
- (2) Περιπτώσεις εφαρμογής του μοντέλου σε παρόμοιες περιπτώσεις με την εξεταζόμενη περίπτωση φράγματος.
- (3) Περιγραφή του μοντέλου και αιτιολόγηση της εφαρμογής του με τις σχετικές παραδοχές στην εξεταζόμενη περίπτωση.
- (4) Εξισώσεις υπολογισμού του μοντέλου.

Τα κύρια χαρακτηριστικά του μοντέλου κύματος είναι τα ακόλουθα:

- (1) Κατηγορία του μοντέλου {2}.
- (2) Περιπτώσεις εφαρμογής του μοντέλου σε παρόμοιες περιπτώσεις με την εξεταζόμενη περίπτωση φράγματος.
- (3) Περιγραφή του μοντέλου και αιτιολόγηση της εφαρμογής του με τις σχετικές παραδοχές στην εξεταζόμενη περίπτωση.
- (4) Εξισώσεις υπολογισμού του μοντέλου.
- (5) Παρουσίαση των αποτελεσμάτων για κάθε σενάριο αστοχίας.
- (6) Σύντομη περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της θραύσης.
- (7) Παρουσίαση και σχολιασμός του ΥΔΕΚΦ.

Για τα δυο μοντέλα παρουσιάζονται τα αποτελέσματα των υπολογισμών για κάθε σενάριο αστοχίας. Για το μοντέλο χάσματος γίνεται (1) σύντομη περιγραφή της χρονικής εξέλιξης της θραύσης με έμφαση στην εκτίμηση του χρόνου της θραύσης και (2) παρουσίαση και σχολιασμός του ΥΔΕΚΦ. Η ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων του μοντέλου κύματος αποτελεί ένα από τα σημαντικότερα σημεία της διαδικασίας και αυτό που έχει τη μεγαλύτερη πρακτική σημασία, γιατί αποτελεί τη βάση του Σχεδίου Αντιμετώπισης Αστοχίας Φράγματος (ΣΑΑΦ). Για το λόγο αυτό περιγράφεται αναλυτικά στο βήμα 5.

3.5 Βήμα 5. Ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων του μοντέλου κύματος

Η ανάλυση και παρουσίαση των αποτελεσμάτων του μοντέλου κύματος περιλαμβάνει τα ακόλουθα:

- (1) Πλημμυρογραφήματα σε επιλεγμένες θέσεις, όπως π.χ. περιοχές ενδιαφέροντος, κατά μήκος του χειμάρρου.
- (2) Ανάλυση των χαρακτηριστικών του πλημμυρικού κύματος στις διατομές και στις επιλεγμένες θέσεις. Στα χαρακτηριστικά αυτά περιλαμβάνονται (α) τα χαρακτηριστικά κατανομής παροχών αιχμής κατά μήκος του ποταμού, όπως οι τιμές των παροχών αιχμής, τα ποσοστά μείωσης των τιμών αυτών και οι χρόνοι παρατήρησής τους, (β) οι τιμές των μέγιστων βαθών ροής κατά μήκος του χειμάρρου, και (γ) οι χρόνοι και οι ταχύτητες κίνησης του πλημμυρικού κύματος.

Τα παραπάνω χαρακτηριστικά μπορεί να παρουσιάζονται σε πίνακες ή σχήματα-σχέδια.

Από τα μέγιστα βάθη ροής και τις τιμές των υψομέτρων πυθμένα προκύπτουν οι μέγιστες απόλυτες στάθμες της επιφάνειας του νερού, από τις οποίες υπολογίζεται το εύρος κατάληψης (περιοχή κατάκλισης) του πλημμυρικού κύματος. Η απεικόνιση της περιοχής κατάληψης του κύματος σε χάρτες μαζί με τους τοπικούς χρόνους άφιξης του κύματος για κάθε εξεταζόμενο σενάριο αποτελεί την πεμπτοσύα των υπολογισμών.

3.6 Βήμα 6. Ανάλυση των αναμενόμενων επιπτώσεων.

Περιγράφονται οι περιβαλλοντικές επιπτώσεις από την αστοχία του φράγματος με βάση τα στοιχεία του βήματος 5. Τμήμα των στοιχείων του παρόντος βήματος μπορεί να περιλαμβάνεται στη σχετική Μελέτη Περιβαλλοντικών Επιπτώσεων (ΜΠΕ).

3.7 Βήμα 7. Διατύπωση προτάσεων για τη μείωση των πιθανοτήτων καταστροφής του φράγματος.

Διατυπώνονται προτάσεις και μέτρα για τη μείωση της επικινδυνότητας του φράγματος κατά την κατασκευή, την πρώτη πλήρωση και τη λειτουργία του. Ιδιαίτερη σημασία έχει η επιλογή του κατάλληλου τύπου φράγματος από τους μελετητές ((π.χ. επιλογή τύπου φράγματος για τον οποίο υπάρχουν ελάχιστες ή μηδενικές περιπτώσεις αστοχίας), και η άρτια μελέτη και κατασκευή του (σύμφωνα με τις Τεχνικές Προδιαγραφές), ώστε να εξασφαλίζεται η μηδενική (πρακτικά) πιθανότητα κατάρρευσής του .

Οι προτάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν και την περιγραφή του περιεχομένου του Σχεδίου Παρακολούθησης της Λειτουργίας και Συντήρησης του Φράγματος (ΣΠΛΣΦ). Η εφαρμογή του ΣΠΛΣΦ έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση των πιθανοτήτων καταστροφής του κατά τη λειτουργία του. Το ΣΠΛΣΦ εκπονείται με βάση τους ισχύοντες κανονισμούς και περιλαμβάνει τουλάχιστον τα ακόλουθα:

- (1) Τακτικό πρόγραμμα εργασιών, όπως το χειρισμό, την επίβλεψη-επιθεώρηση και τη συντήρηση των επιμέρους κατασκευών και του ΗΛΜ εξοπλισμού όλων των τμημάτων του φράγματος, την παρακολούθηση και την κριτική αξιολόγηση των μετρήσεων των καταγραφικών οργάνων του φράγματος, την παρακολούθηση του φράγματος για τον έγκαιρο εντοπισμό διαρροών, ρωγμών, κ.α. και την παρακολούθηση - αστυνόμευση της περιοχής για την αποφυγή τρομοκρατικών ενεργειών
- (2) Έκτακτο πρόγραμμα εργασιών. Περιλαμβάνει τις απαραίτητες ενέργειες σε περίπτωση έκτακτης κατάστασης (π.χ. πιθανού κινδύνου), όπως σεισμούς, πλημμύρες και απότομες μειώσεις στάθμης των νερών, οι οποίες δεν είναι της τάξης των συνηθισμένων μεταβολών εξαιτίας καταναλώσεων με βάση το σχέδιο διαχείρισης του αποθηκεμένου νερού. Οι τεχνικές ενέργειες (π.χ. βαθμιαία εκκένωση του φράγματος) θα προδιαγράφονται με σαφήνεια στον Κανονισμό Λειτουργίας του Φράγματος (ΚΛΦ). Οι ενέργειες άμεσης ειδοποίησης-συναγερμού, κινητοποίησης του μηχανισμού αντιμετώπισης του συμβάντος της πλημμύρας θα προδιαγράφονται με σαφήνεια στο Σχέδιο Αντιμετώπισης του συμβάντος της Πλημμύρας (ΣΑΠ). Ο ΚΛΦ και το ΣΑΠ καταρτίζονται από τις αρμόδιες Υπηρεσίες εκμεταλλεύσεως του φράγματος.

- (3) Καταγραφή και ενημέρωση των υπευθύνων για τις απαιτούμενες ενέργειες και επεμβάσεις στα πλαίσια του τακτικού και έκτακτου προγράμματος εργασιών.
- (4) Καταγραφή των ανωτέρω εργασιών 1, 2 και 3 σε κατάλληλο ημερολόγιο, που θα τηρείται από τις Υπηρεσίες εκμεταλλεύσεως.
- (5) Απαραίτητη προϋπόθεση ενός επιτυχημένου ΣΠΛΣΦ αποτελεί η επιλογή του κατάλληλου προσωπικού εκμεταλλεύσεως (τεχνικό προσωπικό, επόπτης - φύλακας, κ.α.), το οποίο θα πραγματοποιεί τις εργασίες 1, 2, 3 και 4 του ΣΠΛΣΦ.

Ιδιαίτερη σημασία έχει η διαδικασία και ταχύτητα μεταφοράς πληροφοριών και ενημέρωσης από το προσωπικό εκμετάλλευσης προς τις αρμόδιες Υπηρεσίες για την άμεση πραγματοποίηση των απαραίτητων ενεργειών, ιδιαίτερα σε έκτακτες καταστάσεις.

3.8 Βήμα 8. Διατύπωση προτάσεων για την αντιμετώπιση των επιπτώσεων

Διατυπώνονται προτάσεις και μέτρα για τη μείωση της διακινδύνευσης του φράγματος. Οι προτάσεις αυτές έχουν τεράστια σημασία, καθόσον σε αρκετές περιπτώσεις πραγματοποίησης κατάρρευσης ενός φράγματος, μπορεί να υπάρξει άμεση και απότομη διέλευση πολύ μεγάλων ποσοτήτων νερού από κατοικημένες περιοχές με αποτέλεσμα την πρόκληση τεράστιων καταστροφών σε ανθρώπινες ζωές και περιουσίες.

Οι προτάσεις μπορεί να περιλαμβάνουν την περιγραφή του ΣΑΑΦ. Το ΣΑΑΦ έχει ως στόχο την ελαχιστοποίηση των επιπτώσεων από την αστοχία του φράγματος, όπως π.χ. με την παροχή οδηγιών προς τους κατοίκους σε περίπτωση αστοχίας. Σύνοψη των προτάσεων αυτών με τη μορφή Οδηγιών μπορεί να υποβάλλεται στα ΠΣΕΑ για τον προγραμματισμό αντιμετώπισης του συμβάντος της αστοχίας του φράγματος.

3.9 Βήμα 9. Καθορισμός του περιεχομένου τμήματος της ΜΑΦ, το οποίο μπορεί να δημοσιοποιείται.

Περιγράφεται το τμήμα της ΜΑΦ, το οποίο μπορεί να δημοσιοποιείται για λόγους ενημέρωσης των πολιτών, χωρίς όμως να δημιουργεί αδικαιολόγητες ανησυχίες και φόβους .

4 ΣΥΜΠΕΡΑΣΜΑΤΑ-ΠΡΟΤΑΣΕΙΣ

Στην παρούσα εργασία προτείνεται ο άμεσος καθορισμός τεχνικών προδιαγραφών για τις Μελέτες Αστοχίας Φράγματος (ΜΑΦ) με δεδομένη την αναμενόμενη κατασκευή 20 νέων μεγάλων φραγμάτων και 250 μικρότερης κλίμακας, κυρίως σε νησιωτικές περιοχές.

Περιγράφεται ενδεικτικά και συνοπτικά μια συστηματική μεθοδολογία 9 βημάτων για την εκπόνηση μιας ΜΑΦ.

Η μεθοδολογία προτείνεται να χρησιμοποιείται από τους μελετητές αυτούσια ή τμηματικά στις σχετικές μελέτες μέχρι τον καθορισμό των Τεχνικών Προδιαγραφών ΜΑΦ.

Μέχρι τον καθορισμό των Τεχνικών Προδιαγραφών ΜΑΦ, η μεθοδολογία προτείνεται να χρησιμοποιείται από τους μελετητές αυτούσια ή τμηματικά στις σχετικές μελέτες. Με τον καθορισμό των Τεχνικών Προδιαγραφών και προς το παρόν με την εφαρμογή της προτεινόμενης μεθοδολογίας, αναμένεται να υλοποιηθούν τα οφέλη των ΜΑΦ, τα οποία είναι (α) κοινωνικά (προστασία της ανθρώπινης ζωής, ενημέρωση των πολιτών), περιβαλλοντικά (προστασία των κατάντη και πλησίον του φράγματος οικοσυστημάτων), οικονομικά (προστασία της ιδιωτικής και δημόσιας περιουσίας) και πολιτικά (εμπιστοσύνη στην κρατική προστασία).

ΑΝΑΦΟΡΕΣ

1. Stamou, A., Politis, M. and Xanthopoulou, I. (2005). The Importance of Dam Break Analysis in Environmental Impact Studies for Dams, Proceedings of the 8th Int. Conf. on Environmental Science and Technology, Rodos, Greece, 1383-1390.
2. Στάμου, Α. Ι. (2008). Μαθηματική προσομοίωση της αστοχίας φραγμάτων, Πρακτικά του 1^{ου} Πανελληνίου Συνεδρίου Μεγάλων Φραγμάτων, Παρουσίαση έργων, προβλήματα, προκλήσεις και προοπτικές, Λάρισα, 13,14 & 15 Νοεμβρίου 2008.
3. Τζαναβάρα, Χ. (2008). Εξαγγελίες για 270 νέα φράγματα, Ελευθεροτυπία , τ. 5-3-2008.

The need for the formulation of technical specifications for dam failure studies

A. I. Stamou

Assoc. Professor, Department of Water Resources and Environmental Engineering, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Greece.

N. Moutafis

Lecturer, Department of Water Resources and Environmental Engineering, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Greece.

I. Stefanakos

Lecturer, Department of Water Resources and Environmental Engineering, School of Civil Engineering, National Technical University of Athens, Greece.

ABSTRACT: In the introduction of the present study the need for the formulation of technical specifications for Dam Failure Studies (DFSs) is emphasized, given the expected construction of 20 new large dams in the rivers Acheloos, Aliakmonas, Aoos, Kalamas and Arachthos, for which final studies are available, and 250 small dams, mainly in the Greek islands. Then, the process of dam failure and the common modes of failure are briefly described. In the main part of the paper a systematic methodology is presented for the performance of DFSs, which consists of 9 specific steps. The proposed methodology can be used by consulting engineers until the relevant specifications are published.

